ADANSONIA, ser. 2 : 505-524, 12, (4) 1972.

DÉSERTIFICATION DE L'AFRIQUE TROPICALE SÈCHE

par G. BOUDET

RÉSUMÉ : En Afrique tropicale sèche recevant 200 à 450 mm de pluviosité annuelle, le surpâturage de saison des pluies peut provoquer une dégradation irréversible de la végétation pouvant aller jusqu'à la dénudation complète du sol. Le faciès de brousse tigrée pourrait alors constituer une végétation de substitution sous l'effet conjugué de l'érosion éolienne et du ruissellement en nappe. La désertification de l'Afrique tropicale sèche ne résulte pas uniquement d'un dessèchement du climat bien que la méthode des quintiles mette en évidence une succession de périodes sèches et humides correspondant aux fluctuations de l'activité solaire.

SUMMARY: In dry tropical Africa with 200 to 450 mm rainfall, overstocking during rainy season induces serious damages to vegetation, with possibility to have bare ground. Brousse tigrée patterns are probably substitution vegetation in consequence of wind erosion and sheet flow. Series of dry and wet spells in accord with sun activity fluctuation are found with quintiles empirical method but it is not enough to explain desertification.

Au cours des études agrostologiques [1] effectuées au Mali, de part et d'autre de la boucle du Niger, pendant les trois dernières années, de graves indices de dégradation de la végétation ont été observés.

Témoignent-ils d'une désertification accélérée de l'Afrique tropicale sèche? Peut-on en imputer la cause à l'homme et à ses troupeaux, ou à une évolution climatique?

NOTION DE DÉSERTIFICATION

La désertification de l'Afrique est périodiquement présentée comme une calamité imminente, HUBERT, en 1920, dénonce un dessèchement progressif de l'Afrique et AUBRÉVILLE, en 1949, publie un gros ouvrage sur le thème de la désertification. Plus récemment, en juin 1969, PUTMAN attire l'attention sur une « avancée régulière » du désert; en 1971, DEPIERRE et GILLET intitulent un article « Désertification de la zone sahélienne au

1. Les échantillons botaniques récoltés au cours de ces travaux, sont redéterminés par J. P. LEBRUN, botaniste à l'I.E.M.V.T., que nous remercions de sa franche collaboration.

Tchad ». Enfin, au début de 1972, HECQ traite de la « désertification, résultat de l'altération du système nomade ».

Que peut signifier le terme désertification? Représente-t-il pour tous la définition du grand Larousse encyclopédique : « A l'échelle géologique, transformation d'une région relativement humide en désert, due à une aridité croissante du climat. A l'échelle historique, appauvrissement d'une zone semi-aride par la destruction des sols et de la végétation sous l'influence de l'homme (pâturages abusifs, cultures entraînant une érosion accélérée du sol). »

En régions tropicales sèches de l'Afrique, l'élevage transhumant provoque-t-il systématiquement la destruction des sols et de la végétation conduisant à la désertification?

RÉACTIONS DU PATURAGE SAHÉLIEN A LA DENT DE L'HERBIVORE DOMESTIQUE

Les pâturages sahéliens situés en Afrique tropicale sèche reçoivent moins de 450 mm de pluie par an. Tout au Nord, en limite du désert, ils reçoivent une pluviosité aléatoire, inférieure à 200 mm et ils ne donnent lieu qu'à une exploitation par nomadisme, au gré de la répartition irrégulière des tornades.

Les pâturages recevant de 200 à 450 mm de pluviosité annuelle sont traditionnellement exploités par transhumance. Les troupeaux progressent vers le Nord, au début des pluies, en suivant le front de verdure et la formation des mares temporaires. Ils se replient vers le Sud, en début de saison sèche, avec le tarissement des mares. La plupart se concentrent progressivement près des points d'eau permanents : puits, grandes mares et fleuves, alors qu'une minorité pénètre en zone soudanienne à forte densité de cultures.

Un voyageur traversant le pays en pleine saison sèche est toujours frappé par la disparition des pailles dans un large cercle autour des points d'eau permanents, ainsi que par les traces d'intense piétinement et l'abondance des bouses aux environs des abreuvoirs. Pourtant cette « désertification » n'est qu'apparente et ne correspond qu'à une récolte du stock de pailles si la pâture n'est intervenue qu'en saison sèche. (Après la récolte de céréales en août, la Beauce n'a jamais été comparée à un désert.) Dès les premières pluies, le paysage reverdit et le tapis herbacé se régénère avec de très légères modifications, comme l'abondance de plantes nitrophiles aux abords immédiats du point d'eau et la multiplication du cram-cram, *Cenchrus biflorus* Roxb. sur les pâturages sablonneux. La productivité du pâturage n'est pas réduite pour autant et souvent même elle s'accroît. Lorsque les troupeaux consomment des gousses d'Acacias, le rejet des graines non digérées facilite localement les germinations et des fourrés peuvent apparaître dans les creux interdunaires, fréquentés en saison sèche.

Par contre, le pâturage réagit très nettement au pacage de saison



Fig. 1. — Sur sol sablonneux, le surpâturage entraine l'élimination des graminées puis la création des microdunes.



Fig. 2. — Dénudation du sol sous émondes, par imperméabilité due aux termites.

des pluies, près des mares temporaires. Les animaux séjournent à proximité immédiate des points d'eau et sur un rayon de 1 à 3 km, les espèces appétées sont tondues à un rythme accéléré qui épuise leurs réserves jusqu'à l'anéantissement de leurs possibilités de grenaison, donc de régénération. Ces plantes appétées climaciques sont alors progressivement remplacées par des espèces à cycle végétatif de courte durée dont la dissémination est facilitée par les animaux (diaspores zoochores) et ces plantes de substitution offrent une moindre résistance aux agents de l'érosion. L'évolution des pâturages qui en résulte, variera avec les conditions édaphiques.

FACIÈS DE DÉGRADATION AVEC SURPATURAGE DE SAISON DES PLUIES

Sur sols sablonneux

Sur sols sablonneux des formations dunaires, le surpâturage provoque l'élimination progressive de la graminée annuelle : *Aristida mutabilis* Trin. et Rupr.

En secteur sahélo-saharien, recevant moins de 400 mm de pluie, les touffes de *Panicum turgidum* Forsk. sont arasées mais elles subsistent en surélévation par suite du piégeage des éléments fins entraînés par le vent. Entre les touffes s'installent les espèces de substitution à cycle court : *Boerhavia repens* L., *Tribulus terrestris* L.

En secteur sahélo-soudanien recevant de 400 à 500 mm de pluie, le terrain est rapidement recouvert par la Papilionacée à cycle court : *Zornia glochidiata* Reichb. ex DC.

Cette espèce est très recherchée par les bovins et son implantation constitue un enrichissement de la flore du pâturage. Il en résulte un afflux plus important du bétail et le piétinement exagéré favorise l'action érosive des vents en saison sèche, avec apparition de petites plages d'ablation surbaissées à sol damé, où les espèces annuelles ne parviennent plus à germer (fig. 1). Le tapis herbacé devient discontinu et localisé à de petites microdunes séparées par des espaces dénudés.

Sur sols colluviaux

Sur sols colluviaux à éléments fins des grandes dépressions et axes d'écoulement non fonctionnels, les phénomènes de dégradation sont très spectaculaires.

En secteur sahélo-saharien, le tapis herbacé peut être dense avec les graminées annuelles : *Panicum laetum* Kunth, dans les parties basses, *Schoenefeldia gracilis* Kunth, en bordure.

Ces espèces sont très appréciées du bétail et le piétinement exagéré peut favoriser une mobilisation de la partie superficielle du sol provoquant un glaçage asphyxiant, le « sealing », qui entraîne la dénudation du terrain, les espèces annuelles ne parvenant plus à s'y implanter. Ce phénomène



Fig. 3. — Sur sol colluvial, dénudation du sol et mort des ligneux sous l'effet du colmatage ou « sealing ».



Fig. 4. — Glacis dénudé avec affleurement des gravillons en haut de pente.

s'accompagne de la mort d'*Acacia ehrenbergiana* Hayne qui constituait des peuplements denses en bordure de dépression.

En secteur sahélo-soudanien, les grands glacis colluviaux portent une steppe arbustive où le couvert ligneux atteint 50 p. 100, avec dominance de : *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir., *Grewia bicolor* Juss., qu'accompagnent : *Acacia laeta* R. Br. ex Benth., *Adansonia digitata* L., *Boscia angustifolia* A. Rich., *Commiphora africana* (A. Rich.) Engl., *Dalbergia melanoxylon* Guill. et Perr., *Feretia apodanthera* Del.

Le tapis herbacé est bien fourni et dominé par la graminée *Schoenefeldia gracilis* Kunth et la Papilionacée *Zornia glochidiata* Reichb. ex DC. qu'accompagnent : *Aristida adscensionis* L., *Diectomis fastigiata* (Sw.) Kunth, *Diheteropogon hagerupii* Hitch., *Elionurus elegans* Kunth.

De légers creux sont colonisés par des peuplements de *Panicum laetum* Kunth et la graminée sciaphile, *Pennisetum pedicellatum* Trin., est abondante sous la couronne des arbustes.

Le sol de ces glacis est caractérisé par le profil suivant :

— 0 - 10 cm : brun-jaune (E63) [1], sablo-limoneux à sable fin, particulaire.
— 10 - 30 cm : brun vif (E56), argilo-sableux.
— 30 - 70 cm : brun (E72), argilo-limoneux avec un peu de pseudo-sable ferruginisé.
— 70 à 100 cm et au-delà : jaune olive foncé (E76), argileux avec un peu de pseudo-sable et quelques débris de quartz.

La fréquentation de ce pâturage en saison des pluies, provoque l'élimination des graminées annuelles au profit de *Zornia glochidiata* qui disparaît ensuite par plages qui vont en se réunissant. Sous l'effet du « sealing », les ligneux meurent à leur tour, laissant une vaste étendue dénudée, damée et parsemée de bois mort (fig. 3).

DÉSERTIFICATION ET BROUSSE TIGRÉE

La brousse tigrée est une notion de photo-interprète et il faut attendre 1956, pour que ce terme soit généralisé par CLOS-ARCEDUC qui appelle ainsi l'aspect singulier de certaines photographies aériennes verticales où la végétation dessine des bandes parallèles sombres sur fond clair. Il repère cette formation de Nampala au Mali à Dosso au Niger, de part et d'autre de la boucle du Niger, et surtout au voisinage du 15e parallèle. Cette brousse tigrée correspond sur le terrain à des séries répétées,

— d'étendues plates et nues sans végétation,

— d'étendues nues, parsemées de chicots de souches mortes avec persistance de plages embuissonnées,

— d'étendues où les ligneux sont distribués en bandes.

La mise en place de ce paysage peut s'observer lorsque les phénomènes de dégradation sur sols limoneux interviennent, en secteur sahélo-

1. Nomenclature des couleurs du Code Expolaire de CAILLEUX A. et TAYLOR G.

soudanien, sur complexe géologique où affleurent en relief des couches de roches résistantes, séparées par des roches tendres, déblayées par l'érosion ancienne.

Des séries répétées de crêtes à affleurements de grès ferruginisés, séparées par des dépressions colluviales ont pu être observées avec ou sans dégradation. La végétation climacique est une steppe arbustive assez fermée où le couvert ligneux peut dépasser 50 p. 100, avec individualisation de faciès correspondant aux ondulations de terrain. Sur les plateaux, la strate arbustive de la steppe est dominée par *Pterocarpus lucens* Lepr. ex Guill. et Perr., qu'accompagnent : *Acacia laeta* R. Br. ex Benth., *Acacia senegal* (L.) Willd., *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir., *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Commiphora africana* (A. Rich.) Engl., *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight et Arn., *Grewia flavescens* Juss., *Grewia tenax* (Forsk.) Fiori, *Guiera senegalensis* J. F. Gmel.

La strate herbacée y est lâche avec une répartition en taches : *Blepharis linariifolia* Pers., *Cenchrus biflorus* Roxb., *Elionurus elegans* Kunth, *Eragrostis tremula* Hochst. ex Steud., *Loudetia togoensis* (Pilg.) Hubb., *Microchloa indica* (L.f.) P. de B., *Monechma ciliatum* (Jacq.) Milne-Redh., *Schizachyrium exile* (Hochst.) Pilger, *Schoenefeldia gracilis* Kunth, *Tripogon minimus* (A. Rich.) Hochst. ex Steud., *Zornia glochidiata* Reichb. ex DC.

Sous cette formation, le sol est assez profond, avec un horizon gravillonnaire situé vers 70 cm de profondeur. L'horizon supérieur épais de 10 cm est jaune-brun (D66), à structure particulaire, avec un pH de 4,6, c'est un limon sableux à sable grossier. L'horizon sous-jacent est un limon argilo-sableux brun-jaune (D63) à structure particulaire.

Une remontée du socle et des gravillons entraîne une modification de la végétation et le substrat imperméable peut provoquer la formation d'une petite mare temporaire. Celle-ci est entourée d'un fourré à : *Acacia ataxacantha* DC., *Combretum micranthum* G. Don, *Saba senegalensis* (A.DC.) Pichon, et d'un sous-bois à : *Blepharis maderaspatensis* (L.) Heyne ex Roth, *Pennisetum pedicellatum* Trin., *Triumfetta pentandra* A. Rich.

Sur les pentes colluviales reliant les plateaux aux dépressions, se retrouve la végétation des grands glacis colluviaux précédemment décrits avec les espèces ligneuses : *Acacia laeta*, *Boscia senegalensis*, *Grewia bicolor*, *Grewia flavescens*, et les espèces herbacées : *Aristida adscensionis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Zornia glochidiata*.

Les dépressions sises entre les filons de roches dures sont colonisées par une steppe arbustive à couvert ligneux dense, dont le recouvrement dépasse 70 p. 100.

La strate ligneuse est dominée par : *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst., *Pterocarpus lucens* Lepr. ex Guill. et Perr., *Ziziphus mauritiana* Lam., qu'accompagnent : *Acacia laeta* R. Br. ex Benth., *Boscia salicifolia* Oliv., *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Guiera senegalensis* J. F. Gmel.

La strate herbacée est dense et peut dépasser 1 m de hauteur avec les principales graminées : *Brachiaria ramosa* (L.) Stapf, *Diectomis fastigiata* (Sw.) Kunth, *Digitaria nuda* Schum., *Diheteropogon hagerupii* Hitch., *Panicum laetum* Kunth, *Pennisetum pedicellatum* Trin., *Setaria pallide-fusca* (Schumach.) Stapf et Hubb.

Cette végétation climacique semble évoluer très rapidement sous l'action du pacage de saison des pluies. Les troupeaux de transhumance séjournent près des mares temporaires qui sont nombreuses dans la formation et le couvert végétal des glacis limoneux, est dégradé rapidement. Les graminées annuelles broutées à rythme accéléré n'arrivent plus à fructifier et sont progressivement remplacées par *Zornia glochidiata*, papilionacée appétée, à cycle court, qui parvient à fructifier rapidement malgré le broutage répété. Mais cette espèce se dessèche rapidement et ne présente aucune entrave au vent pendant la saison sèche. Le sol piétiné, tassé en profondeur et pulvérulent en surface subit un vannage éolien avec exportation des parties fines. Sur les glacis où la pente est faible et d'environ 3 p. 100 cette érosion éolienne est complétée par le ruissellement en nappe des fortes tornades de début des pluies, qui lessive les parties hautes et entraîne les éléments fins en bas de pente. Sur les parties hautes érodées jusqu'au sol durci, l'eau de pluie ruisselle sans s'infiltrer et en bas de pente les éléments fins constituent une couche imperméable à structure désagrégée provoquant le « sealing » ou imperméabilité superficielle. Ce phénomène d'imperméabilité superficielle du dépôt n'est dû qu'à la destruction de la structure du sol car la texture du dépôt est semblable à celle de l'horizon superficiel en place; dans la couche déposée, il y a léger appauvrissement en sable au bénéfice de l'argile :

Composition en p. 100	Horizon 0-10 cm	Dépôt
Matières organiques	0,21	0,74
Sable grossier (0,2 à 2 mm)	65,1	58,1
Sable fin (0,05 à 0,2 mm)	4,3	6,0
Sable très fin (0,02 à 0,05 mm)	7,2	4,7
Limon (0,002 à 0,02 mm)	6,0	9,5
Argile (inférieur à 0,002 mm)	17,2	21,0

Tout le glacis se trouve imperméabilisé et les graines d'espèces annuelles n'y germent plus pendant que les espèces ligneuses meurent peu à peu. Les termites se multiplient alors et consomment le bois mort tombé à terre (fig. 4). Au bout de quelques années, le glacis est totalement dénudé pendant que l'horizon gravillonnaire sous-jacent finit par affleurer en haut de pente, en contre-bas d'un talus d'érosion régressive, surmonté lui-même, d'une micro-dune constituée par l'apport éolien de saison sèche.

En opposition à cette dénudation du glacis, la dépression prend l'aspect d'un fourré impénétrable avec les nombreuses germinations d'espèces ligneuses qui profitent de l'excès d'eau collecté sur le glacis par le ruissellement superficiel. En lisière du fourré, les dépôts colluviaux sont ensuite peu à peu recolonisés par une végétation herbacée dominée par *Andropogon gayanus* Kunth et le fourré pourra progresser sur le sol régénéré par la rhizosphère graminéenne. Simultanément, le cordon éolien de haut de



Fig. 5. — Brousse tigrée avec l'intervalle dénudé présentant les gravillons en haut de pente et le colmatage de bas de pente recolonisé par les graminées.

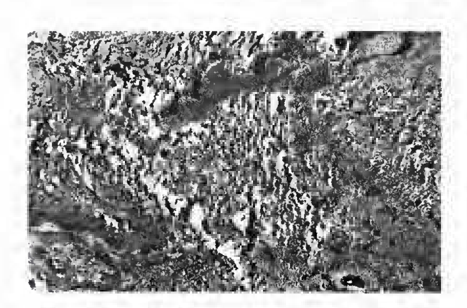


Fig. 6. — Aspect « brousse tigrée » sur photo aérienne verticale au 1/50 000.

pente favorise les germinations d'espèces ligneuses et un autre fourré s'y installe. Par contre, il continue à subir l'érosion régressive et les individus ligneux déchaussés meurent tour à tour. La Brousse Tigrée est alors en place mais avec les mêmes espèces ligneuses que dans les faciès climaciques et le lent déplacement des bandes est amorcé (fig. 5). L'orientation de la pente des glacis détermine l'axe de travail de l'érosion en nappe, pendant que l'érosion éolienne s'effectue dans le sens des vents dominants de saison sèche. La disposition des bandes de fourrés sera la conséquence de la combinaison de ces deux axes d'érosion qui pourront infléchir l'orientation des fourrés et diversifier les aspects de la brousse tigrée en bandes parallèles, bandes incurvées, en rosaces... (fig. 6).

Sur les grands glacis colluviaux, la dénudation sous l'effet du sealing aboutit à de vastes plaines dénudées, fangeuses en saison des pluies et damées en saison sèche. Mais le moindre obstacle, tel qu'un amas de bois mort, va piéger les éléments fins entraînés par le vent et provoquer l'édification d'une petite dune ou « nebka », vite colonisée par des graminées annuelles (fig. 7), si la pluviosité est suffisante (400 à 500 mm). Cette dune de néo-formation va s'agrandir en forme de croissant, face au vent dominant de saison sèche, mais la « discordance » entre sol d'apport et sol en place restera visible très longtemps (fig. 8). Des espèces ligneuses des sols colluviaux, s'associeront peu à peu aux graminées pionnières pour constituer un élément de la future brousse tigrée sur glacis colluvial, qui sera le plus souvent, nettement perpendiculaire au vent dominant de saison sèche.

D'après les observations que nous avons pu effectuer, la brousse tigrée semble donc être un faciès de substitution de la végétation climacique ne pouvant s'installer qu'après élimination totale ou par plages de cette végétation et en profitant de conditions climatiques et édaphiques particulières. Elle aboutit à une contraction de la végétation climacique d'origine, ce qui explique les diverses compositions floristiques des brousses tigrées.

L'influence d'un ruissellement en nappe sur une surface initiale subhorizontale et imperméable a été relevée par la plupart des auteurs; Audry et Rossetti en 1962, White en 1969 et 1970, remarquent que les arcs de végétation et les bandes de fourrés sont habituellement perpendiculaires au flot du ruissellement en nappe venant heurter des amas de matériaux d'origine éolienne.

L'influence asphyxiante du sealing était déjà notée par A. Aubréville en 1938 qui rapporte les observations effectuées en 1937 par une mission forestière anglo-française dans la vallée de la Komadougou, au Niger, où « le colmatage du sol pourrait être la cause du dépérissement de nombreux arbres ».

L'influence des termites dont les termitières effondrées constituent un parapluie asphyxique, a été considérée comme la cause principale de la contraction de la steppe boisée par Clos-Arceduc en 1956. Au cours de nos observations, sur les glacis colluviaux soumis au « sealing », l'action des termites nous a semblé réduite à la consommation des arbres déjà morts et tombés au sol. Cependant, leur contribution à la dénudation du sol est évidente lorsqu'ils sont attirés en grand nombre sous les émondes d'*Acacia seyal* Del., dues aux chevriers (fig. 2).



Fig. 7. — « Nebka » piégée par un arbre mort et colonisée par les graminées.



Fig. 8. — Sous ces dunes de néo-formation, subsiste la « discordance » entre sol en place et sol d'apport. (Photo Cortin A., pédologue, SOGETHA, Grenoble.)

L'influence du vent dominant de saison sèche ne semble pas avoir déjà été évoquée dans le cas de la brousse tigrée. En 1959, A. AUBRÉVILLE, pense qu'il joue un rôle déterminant dans l'alignement des fourrés de la plaine d'Accra, en orientant la pénétration des feux de brousse. En 1967, L. HURAULT accorde un rôle prédominant au vent de saison sèche pour la remobilisation des sables mais la végétation doit être éliminée préalablement par surpâturage. Il suppose également un assèchement progressif du climat, rejoignant ainsi CLOS-ARCEDUC, alors qu'en 1971, FLOHN et KETATA ne trouvent pas de variations climatiques à long terme.

Le climat évolue-t-il ou non? Les relevés pluviométriques connus peuvent-ils fournir une réponse à cette question?

VARIATIONS INTERANNUELLES DE LA PLUVIOSITÉ

Dès 1938, A. AUBRÉVILLE « ne peut parler d'une diminution progressive des précipitations atmosphériques dans laquelle on verrait un assèchement du Sénégal. Le climat de l'Afrique occidentale est soumis à des oscillations à périodicité de 20 à 50 ans à l'intérieur desquelles le climat subirait d'autres variations de moindre durée ». En 1967, COCHEME et FRANQUIN étudient l'agroclimatologie de l'Afrique occidentale sèche et présentent deux méthodes qui facilitent l'approche du problème : le coefficient de variation et la méthode empirique des quintiles. Récemment en 1972, TOUPET a analysé avec ces méthodes les variations de précipitations en Mauritanie centrale. Il remarque que la décennie 1941-50 est relativement sèche et encadrée par les décennies humides 31-40 et 51-60; les années 1941-42 sont très déficitaires et les années 51-52 très excédentaires.

Les relevés pluviométriques de huit stations ont été dépouillés, Dakar et Saint-Louis, au Sénégal, avec utilisation des données de 1855 à 1900, publiées par A. AUBRÉVILLE en 1938; Zinder, Niamey et Ouagadougou à l'Est; enfin le gradient Nord-Sud, Tombouctou, Mopti, Sikasso, au Mali.

Le coefficient de variation, exprimé en p. 100, $CV = 100 \frac{\text{écart type}}{\text{moyenne}}$, a été calculé et il reflète les fluctuations de la pluviosité qui sont d'autant plus fortes que la pluviosité est faible. Il est voisin de 30 p. 100 pour une pluviosité de 200 à 500 mm, alors qu'il descend au-dessous de 20 p. 100 pour une pluviosité supérieure à 800 mm (tabl. 1).

Par la méthode empirique des quintiles, l'ensemble des données de chaque station, a été distribué en 5 classes d'égal effectif : très faibles pluviosités, faibles pluviosités, moyennes pluviosités, fortes pluviosités, très fortes pluviosités. Entre deux classes voisines, la moyenne entre la pluviosité la plus forte de la classe inférieure et la pluviosité la plus faible de la classe supérieure détermine la valeur du quintile entre les deux classes et 4 quintiles sont ainsi obtenus par série de données. Les deux quintiles délimitant la classe moyenne ont été considérés comme les valeurs limites, d'une part, des années sèches, et d'autre part, des années humides. Sur

Tab. 1 : **PLUVIOMÉTRIE** (en mm)

Stations	Latitude	Longitude	Période	Moyenne	Normale 1941-70	Coefficient de variat.	Valeur des quintiles			
							1	2	3	4
Saint-Louis. . . .	16°02′ N	16°28′ W	1855-1971	384,2	337,0	36,8	274	329	390	490
Dakar.	14°44′ N	17°30′ W	1887-1971	550,7	539,1	32,1	410	467	590	700
Zinder.	13°48′ N	9°00′ E	1908-1971	492,5	513,3	27,5	395	465	530	600
Niamey	13°29′ N	2°10′ E	1905-1971	578,5	594,0	24,0	460	556	604	670
Ouagadougou. . .	12°21′ N	1°31′ E	1907-1971	837,8	860,2	18,7	690	824	880	950
Tombouctou. . . .	16°46′ N	3°01′ W	1922-1971	211,2	212,2	29,4	153	200	220	258
Mopti.	14°32′ N	4°05′ W	1922-1971	545,6	552,8	22,8	440	501	558	665
Sikasso	11°21′ N	5°41′ W	1920-1971	1 319,2	1 263,3	17,3	1 150	1 236	1 328	1 495
Nombre de Wolf (act. solaire). . .	—	—	1749-1971	49,9	—	79,5	12,2	32,7	53,9	82,2

Tab. 2 : VARIATIONS INTERANNUELLES

Dakar	St-Louis	Nbre Wolf	Année	Nbre Wolf	St-Louis	Dakar
			1855	6,7	298	
	f	f	56	4,3	334	
	300	11.2	57	22,7	268	
	———	———	58	54,8	459	
			59	93,8	799	
			1860	95,8	293	
			61	77,2	—	
			62	59,1	558	
			63	44,0	141	
			64	47,0	403	
			65	30,5	332	
			66	16,3	331	
			67	7,3	390	
	F	F	68	37,6	304	
	447	64.7	69	74,0	649	
			1870	139,0	511	
			71	111,2	—	
			72	101,6	—	
			73	66,2	359	
		———	74	44,7	588	
			75	17,0	329	
			76	11,3	609	
			77	12,4	314	
			78	3,4	285	
			79	6,0	434	
			1880	32,2	572	
			81	54,3	673	
	———		82	59,6	500	
			83	63,6	—	
			84	63,5		
?	?		85	52,0	—	
			86	25,4	—	
———	———		87	13,1	554	960
f	f	f	88	6,8	250	479
409	252	27.1	89	6,2	—	332
———	———	———	1890	7,1	254	417
			91	35,6	—	670
F	F	F	92	72,9	385	788
610	433	67.1	93	85,1	553	635
	———		94	78,0	363	534
		———	95	64,0	251	741
			96	41,8	169	383
			97	26,2	330	534
			98	26,7	478	602
———	f	f	99	12,1	316	611
f			1900	9,5	355	506
456	316	18.5	01	2,7	426	438
			02	5,1	301	466
———		———	03	24,4	238	415
	———		04	42,0	298	550

Tab. 2 : VARIATIONS INTERANNUELLES (suite 1)

Année	Nbre Wolf	St-Louis	Dakar	Zinder	Niamey	Ouagadougou	Tombouctou	Mopti	Sikasso
1905	63,5	438	526		483				
06	53,9	595	959		601				
07	62,0	238	450		530				
08	48,5	203	602	397	522	688			
09	43,9	339	795	170	939	710			
1910	18,6	725	341	—	433	966			
11	5,7	261	449	290	—	575			
12	3,6	675	426	215	449	603			
13	1,4	150	313	229	339	411			
14	9,6	275	397	390	356	661			
15	47,4	325	894	402	281	772			
16	57,1	488	341	619	494	656			
17	103,9	524	700	—	375	986			
18	80,6	664	903	627	605	917			
19	63,6	605	376	346	695	641			
1920	37,6	341	407	513	480	884			1212
21	26,1	315	334	—	604	695			996
22	14,2	332	437	489	634	988	152	500	1961
23	5,8	320	636	425	575	771	143	646	1231
24	16,7	305	528	230	684	862	285	—	1308
25	44,3	348	404	580	684	843	210	502	1489
26	63,9	478	501	422	407	603	167	358	1324
27	69,0	682	849	559	905	877	339	475	1759
28	77,8	318	427	659	568	1320	234	590	1872
29	64,9	406	629	554	816	980	208	702	1306
1930	35,7	663	709	518	791	985	108	523	—
31	21,2	164	401	566	525	834	257	—	1726
32	11,1	353	618	576	525	820	203	656	1501
33	5,7	450	627	563	451	906	290	—	1633
34	8,7	251	446	442	454	797	187	—	1387
35	36,0	522	867	525	543	1047	242	373	1668
36	79,7	362	468	677	751	900	313	662	1203
37	114,4	449	388	435	551	753	214	387	1311
38	109,6	450	595	463	555	853	155	435	1225
39	88,8	390	591	690	606	966	106	682	1332

une série d'observations, des périodes ont alors été délimitées pour lesquelles la moyenne des valeurs observées est faible ou forte. La période concernée est alors considérée comme sèche ou humide (f ou F dans le tabl. 3) bien qu'elle puisse présenter une année ou deux à pluviosité nettement différente. Puisque Welter pensait en 1930 que « les grandes pluviosités correspondent à des maximums de taches solaires et les sécheresses relatives à des époques d'activité minimale », la même méthode des quintiles a été appliquée aux nombres de Wolf, correspondant au nombre

Tab. 2 : VARIATIONS INTERANNUELLES (suite 2)

Année	Nbre Wolf	St-Louis	Dakar	Zinder	Niamey	Ouagadougou	Tombouctou	Mopti	Sikasso
1940	67,8	334	690	439	569	926	170	478	1077
41	47,5	219	291	426	467	935	145	447	1160
42	30,6	174	432	340	577	855	154	452	1269
43	16,3	592	836	750	663	1080	284	705	1160
44	9,6	459	423	547	314	639	273	394	982
45	33,1	206	563	543	589	870	305	588	1078
46	92,5	279	594	800	645	850	259	555	1301
47	151,5	424	368	470	499	499	210	360	1085
48	136,2	209	475	371	657	851	210	388	1329
49	135,1	357	545	256	359	920	191	462	1069
1950	83,9	351	872	610	596	825	245	720	1592
51	69,4	456	684	500	567	950	258	520	1511
52	31,4	427	531	662	901	884	239	964	1101
53	13,9	289	446	584	690	860	262	694	1558
54	4,4	373	640	679	465	744	380	525	1439
55	38,0	416	704	500	561	934	204	591	1408
56	141,7	225	430	610	416	924	154	701	1185
57	189,9	311	555	600	608	951	247	689	1310
58	184,6	353	683	526	622	763	175	544	1450
59	158,8	193	268	481	653	874	235	520	1269
1960	112,3	260	461	583	628	863	243	484	1230
61	53,9	284	719	578	699	795	208	417	1141
62	37,5	332	592	469	662	1125	176	585	1244
63	27,9	474	442	363	558	634	200	493	1248
64	10,2	328	597	659	705	1134	217	627	1240
65	15,1	323	411	434	662	824	144	670	979
66	47,0	439	564	487	566	674	100	420	1229
67	93,8	416	927	405	813	684	126	560	1277
68	105,9	233	227	376	447	810	233	455	1476
69	105,6	531	726	436	647	976	147	514	1232
1970	104,2	180	167	355	541	748	144	540	1347
71	66,6	177	386	352	570	793	170	493	857

relatif de taches solaires, et communiqués par le Département solaire de l'Observatoire de Paris-Meudon (DASOP).

Aux petites fluctuations des nombres de Wolf, correspondent presque toujours des variations parallèles de la pluviosité, bien que ces variations ne soient pas toujours simultanées. C'est ce qui peut expliquer qu'il n'a pas été possible de trouver une corrélation mathématique significative entre nombres de Wolf et pluviosités. L'orientation générale des fluctuations est identique lorsque la période considérée est assez grande, et ceci pour l'ensemble des stations examinées. La comparaison des fluctuations de la pluviosité des diverses stations avec celles de l'activité solaire facilite le choix des périodes à considérer et permet de déceler des phases sèches et

Tab. 3 : PÉRIODICITÉ DE LA PLUVIOSITÉ

Année	Wolf	St-Louis	Dakar	Zinder	Niamey	Ouagadougou	Tombouctou	Mopti	Sikasso
1905									
6	F	F	F	?	F	?			
8	52.3	434	647		615				
1910									
12	f		f	f	f	f			
14	7.7	f 250	385	299	389	671			
16									
18	F	F	F 709	F 623		F 951			
1920	65.0	524			F 650				?
22	f	f	f	f	f 542	f 740	?	?	f 1104
24	21.4	324	452	429			f	f	
26							191	496	
28									
1930									
32	F	F	F	F	F	F	F	F	F
34	56.9	418	593	555	610	898	235	556	1484
36									
38									
1940									
42	f	f	f 361	f 401	f		f	f	f
44	27,4	320			522	f	183	495	1121
46						798			
48									
1950	F	F	F	F	F	F	F	F	F
52	74.3	397	590	560	615	884	236	670	1329
54									
56									
58			M						
1960			480						
62									
64	f	f	F						
66	25.0	323	607						
68									
1970	F		f	f	f	f	f	f	f
71	95.2		376	433	551	815	166	497	1208

humides. Pour de longues périodes, la méthode met en évidence de grandes phases d'activité solaire :

1° 1749-1794 (46 ans) — forte activité, m = 59,5.
2° 1795-1834 (40 ans) — faible activité, m = 24,4.
3° 1835-1874 (40 ans) — forte activité, m = 61,4.
4° 1875-1924 (50 ans) — faible activité, m = 32,5.
5° 1925-1971 (47 ans) — forte activité, m = 69,1.

Les relevés pluviométriques de Saint-Louis ne sont connus qu'à partir de 1855, milieu de la 3e phase, où ils correspondent à une période humide qui se prolonge jusqu'en 1882. Pour les deux dernières phases, il est enfin possible de comparer activité solaire et diverses pluviosités. Au cours de la 4e phase, de 1875 à 1924, de longues périodes de faibles pluviosités sont séparées par de fortes pluviosités de faible durée, de sorte qu'à une faible activité solaire correspond une dominance de faibles pluviosités. Par contre depuis 1925, l'activité solaire est forte et les périodes de fortes pluviosités sont longues, alors que les périodes de faibles pluviosités sont courtes. Cette fluctuation dans les rythmes de pluviosité ne s'accompagne pas nécessairement d'une diminution de la pluviosité pendant la période. Ainsi pour Dakar, la moyenne des pluies est de 549 mm pour la période 1887-1924 et de 548 mm pour la période 1925-1971. Si la moyenne reste stable pour ces périodes longues, l'influence de la répétition de longues périodes sèches, peut avoir une influence sur la végétation, et surtout sur la végétation ligneuse. Il semble également qu'il y ait une action certaine sur les réserves des nappes souterraines, comme le notait AUBRÉVILLE en 1938 : la compagnie du chemin de fer de Dakar à Saint-Louis a noté dans ses puits un abaissement général du niveau de l'eau de 3 m, entre 1883 et 1917, avec réduction du débit. Le puits de Thiès ne débitait plus que 28,4 m^3 par 24 heures en 1903. Après approfondissement, le débit s'élevait à 150 m^3 en 1904 pour redescendre à 112 m^3 en 1914. L'arrivée de la période humide a provoqué une nette amélioration de la situation. La hauteur d'eau du puits de Thiès est remontée brusquement à 13 m en 1927 alors qu'elle était de 4 m en 1923 et le débit est remonté à 150 m^3 en 1932.

Est-il raisonnable d'énoncer des prédictions pour l'avenir immédiat? L'examen des nombres de WOLF révèle que les deux phases de faible activé solaire ont été précédées par des soubresauts de grande activité.

1re phase : 1749-1794 :

1769-70 : 106,1; 100,8,
1778-79 : 154,4; 125,9,
1787-88 : 132,0; 130,9.

3e phase : 1835-1874 :

1847-48 : 98,4; 124,7,
1870-71 : 139,0; 111,2.

5e phase : 1925-1971, ... :

1937-38 : 114,4; 109,6,
1947-48 : 151,5; 136,2,
1957-58 : 189,9; 184,6,
1968-69 : 105,9; 105,6.

L'activité exceptionnelle des années 1957-58 marque-t-elle une apogée de l'activité solaire et celle de 1968-69, un réveil timide?

Il faudrait alors prévoir une longue phase de faible activité se traduisant par un étalement des périodes sèches. Il est d'ailleurs à noter que le réveil de 1968-69 n'a eu qu'une faible incidence sur la pluviosité générale qui s'amoindrit depuis 1960.

CONCLUSION

Bien qu'une période sèche sévisse sur toute la zone tropicale sèche de l'Afrique occidentale depuis quelques années, il ne serait pas raisonnable d'y voir la cause essentielle de la dégradation de la végétation, qui peut être constatée actuellement. La dégradation observée en 1937 dans la Komadougou, par la mission anglo-française, ainsi que celle qui fut signalée par Clos-Arceduc en 1956, à la suite de ses prospections effectuées de 1950 à 1952, se sont d'ailleurs produites en pleine période humide. Cependant la petite période sèche de 1941-43, comme la période actuelle, ont pu accélérer le phénomène.

Si les agriculteurs apparaissent comme les artisans de la désertification de l'Afrique par la hache et le feu, les éleveurs portent probablement une forte responsabilité dans la désertification de l'Afrique sèche, là où les cultures sont traditionnellement exclues. Si l'augmentation du cheptel est nécessaire à la subsistance des éleveurs en accroissement constant, il est évident que les formes traditionnelles d'élevage doivent évoluer de toute urgence pour assurer la conservation de la productivité, voire la survivance du domaine sahélien.

La lutte pour le maintien de « l'environnement » devrait être une préoccupation majeure des pays concernés et recevoir l'aide indispensable des organismes internationaux. L'évolution climatique entrevue dans cet article devrait conduire à une grande prudence, d'autant plus que les plans de développement des pays intéressés ont été élaborés sur les bases d'une expérimentation conduite pendant les « bonnes années » de la période humide 1925-1960.

Bibliographie

Aubréville, A. — La forêt coloniale. Les forêts de l'Afrique occidentale française. Ann. Acad. Sci. colon., **9**. Paris Soc. édit. géogr. marit. colon. (1938).

— Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Paris Soc. édit. géogr. marit. colon., 351 p. (1949).

— Les fourrés alignés et les savanes à termitières buissonnantes des plaines de Winneba et d'Accra (Ghana). Bois et Forêts des Tropiques **67** : 21-24 (1959).

Audry, P., Rossetti, Ch. — Observations sur les sols et la végétation en Mauritanie du Sud-Est et sur la bordure adjacente du Mali (1959 et 1961). Rome F.A.O. 24 067/F/1 (1962).

Boudet, G. — Étude agrostologique pour la création d'une station d'embouche dans la région de Niono (République du Mali). I.E.M.V.T. Et. agrost. n° 29, 268 p., 3 c. polychromes (1970).

— Projet de développement de l'Élevage dans la région de Mopti; Étude agrostologique. I.E.M.V.T. Et. agrost. n° 37, 309 p., 1 c. polychrome au 1/1 000 000 (1972).

Boudet, G., Cortin, A., Macher, H. — Esquisse pastorale et esquisse de transhumance de la région du Gourma. Rép. du Mali, Ministère de la Production; DIWI, Gesellschaft für ingenieurberatung Essen, 283 p., 1 atlas polychrome au 1/200 000 (1971).

Clos-Arceduc, M. — Étude sur photographies aériennes d'une formation végétale sahélienne : la brousse tigrée. Bull. I.F.A.N. **18**, 3 : 677-684 (1956).

Cocheme, J., Franquin, P. — Étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au Sud du Sahara en Afrique occidentale. Rome F.A.O. (1967).

Depierre, D. et Gillet, H. — Désertification de la zone sahélienne au Tchad (Bilan de 10 années de mise en défense). Bois et Forêts des Tropiques **139** : 3-25, 10 ph; graph., tab. (1971).

Flohn, H., Ketata, M. — Étude des conditions climatiques de l'avance du Sahara Tunisien. Genève O.M.M./W.M.O., note technique n° 116 (1971).

Hecq, J. — Réflexions sur l'élevage en régions tropicales sèches. Courrier Association (janv.-fév.) : 18-21 (1972).

Hubert, H. — Le dessèchement progressif en Afrique occidentale. Bull. Comité d'Et. Hist. et Scient. de l'A.O.F., oct.-déc. (1920).

Hurault, L. — Étude photo-aérienne de la tendance à la remobilisation des sables éoliens sur la rive Nord du Lac Tchad (régions de Mao et Bol). Actes II[e] Symposium Int. Photo-Interprétation Paris 1966 : IV. 1. : 71-80 (1967).

Putman, C. W. — Conférence sur le développement du bétail dans les zones sèches et les savanes intermédiaires. Université de Zaria-Nigeria (1969).

Service Météorologique Fédéral de l'A.O.F. — Pluviométrie du Soudan 1920-1949. Dakar-Gouvernement Général (1954).

Toupet, Ch. — Les variations interannuelles des précipitations en Mauritanie Centrale. C.R. Soc. Biogéogr. Paris **416-421** : 39-47 (1972).

Welter, L. — La pluie à Dakar et l'activité solaire. Bull. Com. Et. Hist. Scient. de l'A.O.F. : 264 (1930).

White, L. P. — Vegetation arcs in Jordan. Journ. Ecol. **57** (2) : 461-464 (1969).

— Brousse tigrée patterns in Southern Niger. Journ. Ecol. **58** : 549-553 (1970).

Maître de Recherches O.R.S.T.O.M.
Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire
des Pays Tropicaux
Maisons-Alfort.